

УДК: 656.61.052.1-52-047.37

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕХОДА СУДНА НА ЗАДАННЫЙ КУРС ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗАКОНАХ УПРАВЛЕНИЯ

*Шевченко В.А.*

*Одесская национальная морская академия*

*В работе проведен анализ существующего принципа функционирования систем автоматического управления курсом судна. Осуществлено моделирование процесса выхода судна на новый курс с применением традиционного пропорционально-интегрально-дифференциального закона управления и, предложенного для повышения быстродействия релейного закона управления. Показаны преимущества применения релейного закона в отношении быстродействия.*

*Ключевые слова:* управление курсом, быстродействие, ПИД, релейное управление, безопасность мореплавания.

**Введение.** Современные требования к безопасности мореплавания и повышения эффективности эксплуатации транспортных средств, сформулированные в ряде научных работ, например в [1], требуют усовершенствования существующих законов управления и реализации системой автоматического управления курсом судна (САУ КС) новых режимов, обеспечивающих необходимое быстродействие.

**Актуальность исследований.** Большинство эксплуатируемых сегодня САУ КС реализуют пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) закон управления. Эффективность управления в таком случае достигается подбором наиболее подходящих значений коэффициентов ПИД-контроллера.

Анализируя последние научные труды и публикации в области повышения эффективности работы САУ КС, следует отметить работы [2,3], в которых рассматриваются адаптивные и интеллектуальные способы настройки коэффициентов ПИД-контроллера.

Помимо режима стабилизации судна на курсе на сегодняшний день возникла необходимость во введении в существующую САУ КС новых режимов, в частности режима перехода на заданный курс за минимальное время. Возможности ПИД-контроллера в данном случае являются ограниченными и не всегда удовлетворяют современным требованиям. Следует отметить, что режим перехода на заданный курс при больших курсовых поправках в настоящее время реализуется вручную.

Автоматизация такого режима требует анализа применения различных законов управления и выбора наиболее подходящего из них в отношении быстродействия. Решению задачи по повышению быстродействия САУ КС в режиме введения курсовых поправок посвящена работа [4]. В качестве математического аппарата в работе [4] были использованы теорема Фельдбаума об  $n$  интервалах и принцип максимума Понтрягина.

**Постановка задачи.** Задачей данной работы является определение эффективности применения альтернативного существующему закону управления путем моделирования перехода судна на заданный курс при значительных курсовых поправках (отклонениях). Критерием эффективности применения закона управления будем считать быстродействие. Моделирование процесса управления курсом предполагается проводить с учетом отсутствия влияния на судно возмущающих воздействий. При этом в качестве объекта моделирования будем использовать грузовое судно дедвейтом 16622 тонны с электрогидравлической рулевой машиной постоянной производительности, параметры которого описаны в работе [5], а в качестве примера курсовой поправки – поправка на  $30^\circ$ .

**Результаты исследований.** Для режима перехода на заданный курс были рассмотрены ПИД-закон и предложенный в работе [4] релейный законы управления, а также определены параметры соответствующих сигналов управления.

В первом случае для моделирования процесса перехода судна на заданный курс при значительных курсовых поправках использовался настроенный для используемого судна ПИД-контроллер [5] (рис. 1).

Моделирование проводилось на платформе SIMULINK пакета программ MATLAB с использованием патентованной библиотеки морских судов, установок и средств управления GNC [5].

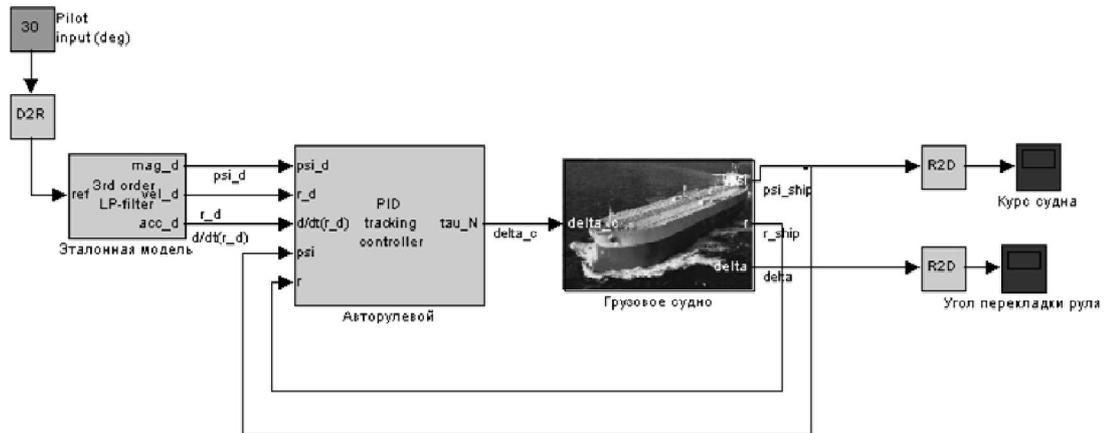


Рисунок 1 – Структурная схема САУ КС, использующей ПИД-контроллер

Результаты моделирования процесса управления курсом с использованием ПИД-контроллера при введении курсовой поправки изображены на графиках рис. 2.

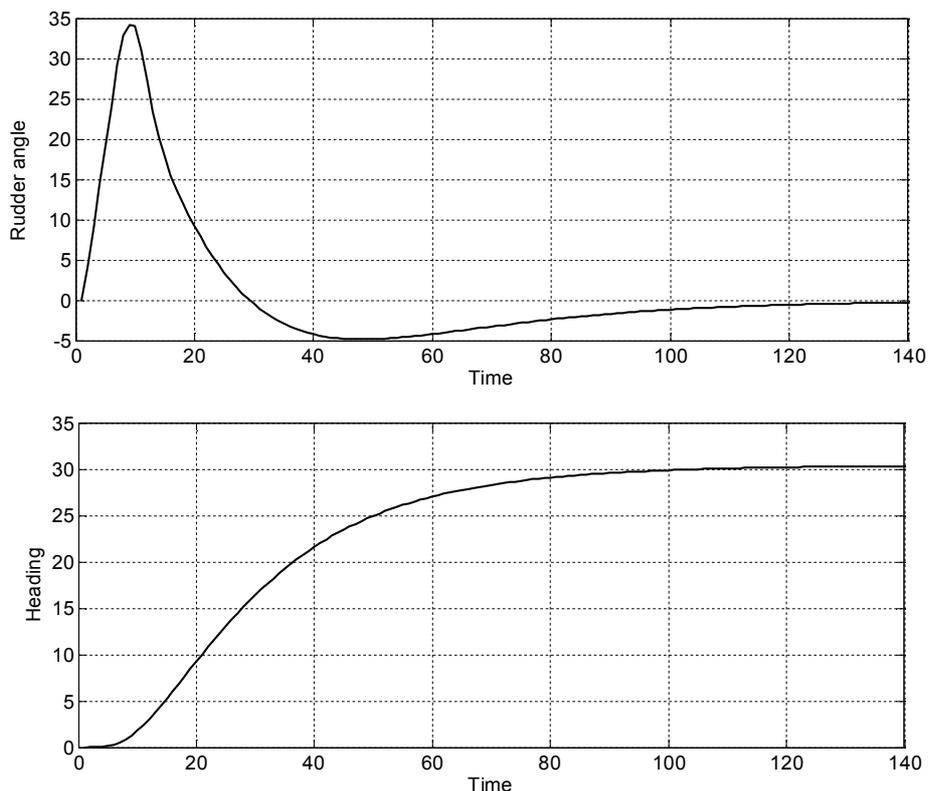


Рисунок 2 – Графики зависимости перекладки руля и курса судна от времени при использовании ПИД-контроллера, где Rudder angle – угол перекладки пера руля; Time – время; Heading – курс судна

Из графика зависимости курса судна от времени видно, что с использованием ПИД-контроллера при курсовой поправке на  $30^\circ$  судно выходит на заданный курс за 95 секунд.

При релейном управлении величина релейного сигнала соответствует максимально допустимому углу перекладки пера руля (в данном случае  $35^\circ$ ). Моменты переключения управляющего сигнала определялись из системы уравнений (1), [6]:

$$\begin{cases} e^{-\lambda t_3} - e^{-\lambda t_2} + e^{-\lambda t_1} - e^{-\lambda t''} + e^{-\lambda t'} - 1 = 0, \\ t_3^2 - t_2^2 + t_1^2 - (t'')^2 + (t')^2 + 2 \frac{x_k}{k \dot{\delta}_{\max}} = 0, \\ t_3 - t_2 + t_1 - t'' + t' = 0; \end{cases} \quad (1)$$

где  $t_1$  – первый момент переключения (смены знака сигнала управления);  $t_2$  – второй момент переключения,  $t_3$  – момент обращения управляющего сигнала в 0;  $\dot{\delta}_{\max}$  – максимальная скорость перекладки руля;  $\lambda_1, \lambda_2$  – корни характеристического уравнения системы рулевая машина – судно;  $x_k = \alpha_k$  – курсовая поправка;  $k = k_p k_c$  – коэффициент передачи звена судно – рулевая машина;  $t'$  – время перекладки пера руля от диаметральной плоскости до граничного положения,  $t'' = t_1 + 2t'$ .

Параметры системы уравнений (1) применительно к рассматриваемому объекту моделирования имеют значения [5]:  $-\lambda = 1/T_c = 0,00932$  1/сек;  $t' = 7$  сек;  $x_k = 30^\circ = 0,523$  рад;  $\dot{\delta}_{\max} = 5^\circ/\text{сек} = 0,087$  рад/сек;  $k = 0,185$  1/сек;

Система (1) решалась методом сопряженных градиентов при помощи программы, написанной на языке С с применением библиотеки численных методов решения математических задач GSL.

В результате расчета для курсовой поправки на  $30^\circ$  и выбранного судна были получены значения моментов переключения  $t_1, t_2, t_3$ :  $t_1 = 21,443$  сек,  $t_2 = 45,243$  сек,  $t_3 = 52,243$  сек.

Структурная схема системы управления, работающей по релейному закону, представлена на рис. 3.

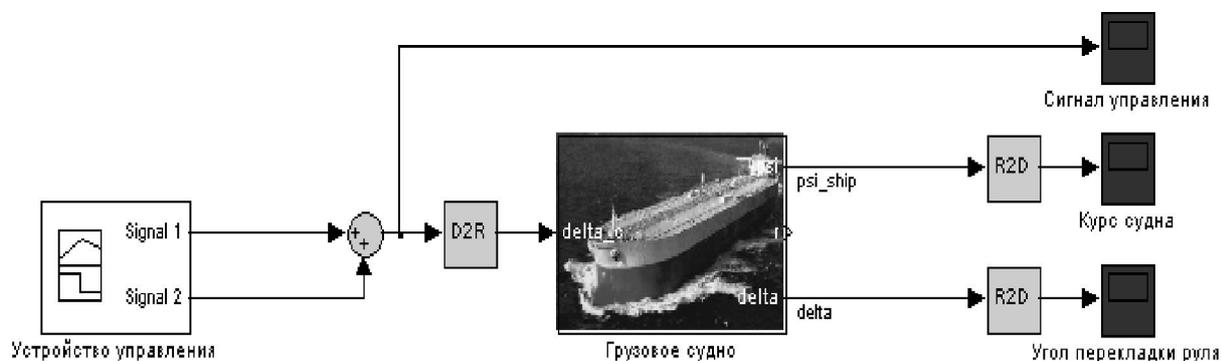


Рисунок 3 – Структурная схема системы управления, работающей по релейному закону

Результаты моделирования курсовой поправки при релейном законе управления изображены на графиках рис. 4.

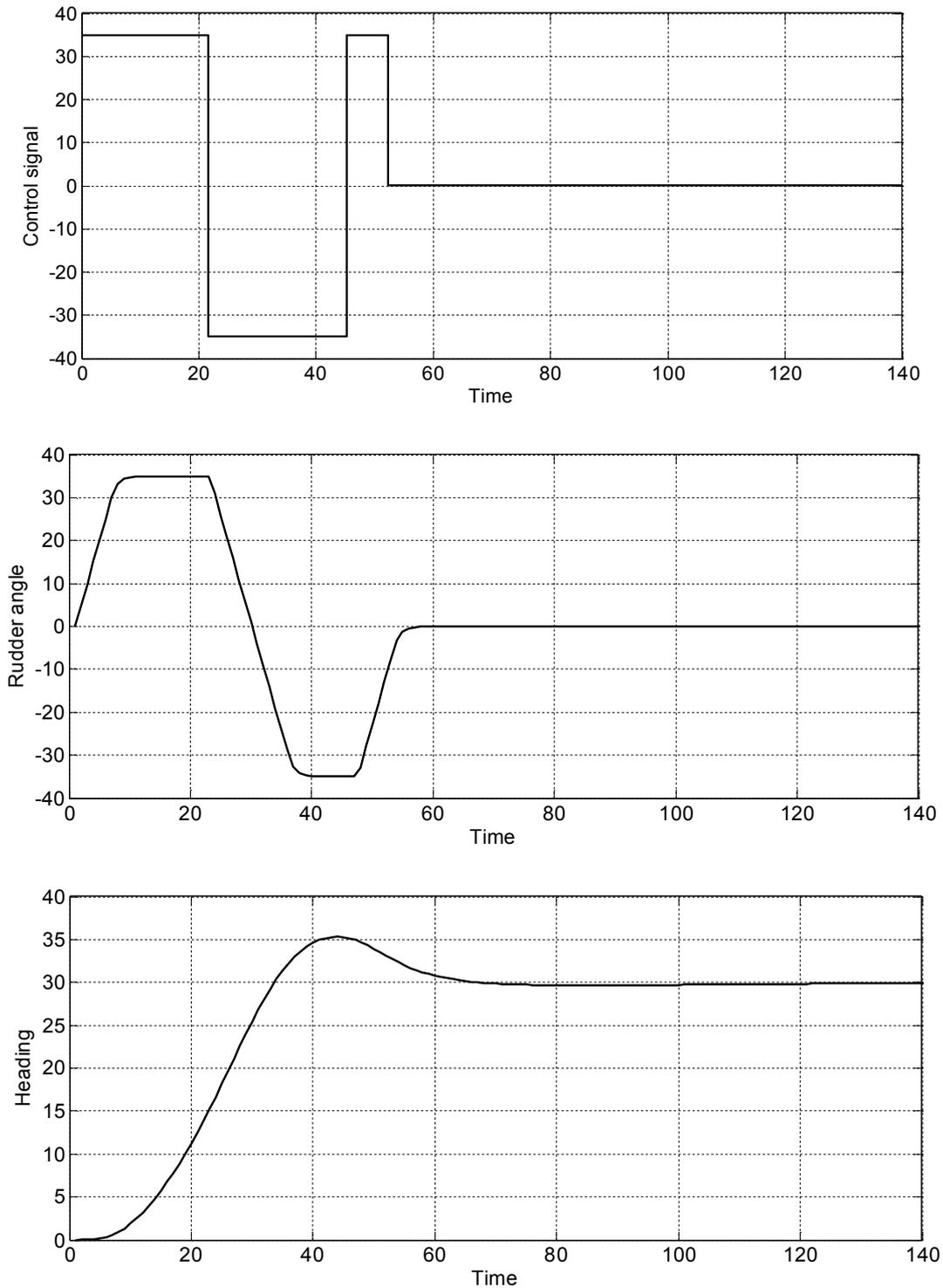


Рисунок 4 – Графики зависимости управляющего сигнала, перекладки руля и курса судна от времени при релейном законе управления

Из графика зависимости курса судна от времени (рис. 4) видно, что при релейном законе регулирования при курсовой поправке на  $30^\circ$  судно выходит на заданный курс за 65 секунд. Перерегулирование, в данном случае, обусловлено постоянной скоростью перекладки руля.

**Выводы.** Моделирование перехода судна на заданный курс при значительных курсовых поправках (отклонениях) с применением ПИД и релейного законов управления показало преимущество использования релейного закона управления в отношении быстродействия (65 секунд против 95-ти).

Полученные результаты показывают эффективность применения релейного закона управления при автоматизации режима перехода на заданный курс при больших курсовых поправках. Автоматизация такого режима повысит безопасность мореплавания и эффективность эксплуатации транспортных средств.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мальцев А. С. Теорія і практика безпечного управління судном при маневруванні : автореф. дис. на здоб. наук. ступ. д.т.н. / Мальцев Анатолій Сидорович. – Одеса, 2007. – 36 с.
2. Виткалов Я. Л. Исследование проблем синтеза нейросетевого контроллера в задаче управления курсом судна : автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук / Виткалов Ярослав Леонидович. – Владивосток, 2006. – 25 с.
3. Подпорин С. А. Развитие методов интеллектуального управления движением судна на курсе. – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность 05.22.13 – Навигация и управление движением. Одесская национальная морская академия. – Одесса, 2009 г.
4. Захарченко В. Н. Повышение быстродействия системы управления судном при больших отклонениях курса / В. Н. Захарченко, В. С. Луковцев, В. А. Шевченко. // Судовождение. – Вып.16. – ОНМА, 2009.
5. Fossen, T. I. (2002). Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles, Marine Cybernetics. ISBN 82-92356-00-2.
6. Антомонов Ю. Г. Автоматическое управление с применением вычислительных машин / Ю. Г. Антомонов. – Л. : Судпромгиз, 1962. – 340 с.

### REFERENCES

1. Maltsev A. S. Teoriia i praktyka bezpechnoho upravlinnia sudnom pry manevruvanni : avtoref. dys. na zdob. nauk. stup. d.t.n. / Maltsev Anatolii Sydorovych. – Odesa, 2007. – 36 p.
2. Vitkalov Ya. L. Issledovanie problem sinteza neyrosetevogo kontrollera v zadache upravleniya kursom sudna : avtoreferat dissertacii na soiskanie uchyonoyj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Vitkalov Yaroslav Leonidovich. – Vladivostok, 2006. – 25 p.
3. Podporin S. A. Razvitie metodov intellektualjnogo upravleniya dvizheniem sudna na kurse. – Rukopisj. Dissertaciya na soiskanie uchenoyj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Specialnostj 05.22.13 – Navigaciya i upravlenie dvizheniem. Odesskaya nacionaljnaya morskaya akademiya. – Odessa, 2009.
4. Zakharchenko V. N. Povihshenie bihstrodeyjstviya sistemih upravleniya sudnom pri boljshikh otkloneniyakh kursa / V. N. Zakharchenko, V. S. Lukovcev, V. A. Shevchenko. // Sudovozhdenie. – Vip.16. – ONMA, 2009.
5. Fossen, T. I. (2002). Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles, Marine Cybernetics. ISBN 82-92356-00-2.
6. Antomonov Yu. G. Avtomaticheskoe upravlenie s primeneniem vihchisliteljnihkh mashin / Yu. G. Antomonov. – L. : Sudpromgiz, 1962. – 340 p.

**Шевченко В.А.** ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕХОДУ СУДНА НА ЗАДАНИЙ КУРС ПРИ РІЗНИХ ЗАКОНАХ КЕРУВАННЯ

*У роботі проведено аналіз існуючого принципу функціонування систем автоматичного керування курсом судна. Здійснено моделювання процесу виходу судна на новий курс із застосуванням традиційного пропорційно-інтегрально-диференційного закону управління. Показані переваги застосування релейного закону у відношенні швидкодії.*

*Ключові слова: управління курсом, швидкодія, ПІД, релейне управління, безпека судноплавства.*

**Shevchenko V.A.** RESEARCH OF SHIPS' COURSE CHANGING PROCESS USING DIFFERENT CONTROL LAWS

*An analysis of conventional course keeping control system operation principle was conducted in the paper. A modelling of course changing process using conventional proportional-integral-derivative control law and offered for fast acting relay law was carried out. Advantages of using the relay control law when fast acting is needed were shown.*

*Keywords: course control, fast acting, PID, relay control, safety of navigation.*

© Шевченко В.А.

Статтю прийнято  
до редакції 1.04.15